

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK**

**KRUŽENJE UGLJIKA U PELAGIJALU**

**CARBON CYCLING IN THE PELAGIC ENVIRONMENT**

Luka Šupraha

Preddiplomski studij biologije  
(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: prof. Damir Vilić

Zagreb 2009.

## SADRŽAJ

1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU .....	2 – 3
2. ORGANSKA TVAR U MORU .....	4 – 5
3. KRUŽENJE UGLJIK U MORU .....	6
3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA .....	7
3.2. HRANIDBENA MREŽA .....	7 – 8
3.3. MIKROBNI KRUG .....	9
4. SAŽETAK .....	10
5. SUMMARY .....	10
6. LITERATURA .....	11

# 1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU

Pelagijal je životna zajednica slobodne vode oceana i obalnih mora. Ine ju taksonomski razli ite skupine organizama koje se prema pokretljivosti dijele na slabo pokretni plankton i pokretni nekton. Plankton se prema na inu prehrane dijeli na autotrofni i miksotrofni fitoplankton te heterotrofni zooplankton i bakterioplankton (Vili i 2003). Posebnu važnost za pelagi ki ekosustav ima podru je epipelagijala, tj. slobodne vode koja pripada foti koj zoni, do 150 m. dubine, a u kojoj se razvija fitoplankton.

U oceanima se doga a gotovo polovica ukupne primarne produkcije biosfere, oko 46 %. Ve inu ugljika pritom asimilira fitoplankton, dok manji udio u asimilaciji imaju makroskopske alge i morske cvjetnice (Field 1998).

Primarna produkcija fitoplanktona omogu uje razvoj organizama na višim trofi kim razinama. Neprobavljenu i propalu biomasu recikliraju heterotrofni i miksotrofni mikroorganizmi, ime hranjive soli postaju ponovno dostupne za novu fotosintezu. Doprinos fitoplanktona posebno je zna ajan u dubokim morima gdje nedostatak svjetlosti na dnu limitira razvoj morskih cvjetnica ili makroskopskih algi kao primarnih proizvo a a. U takvim sustavima životne zajednice najve im dijelom ovise o primarnoj produkciji u epipelagijalu i vertikalnom transportu organske tvari u dubinu. Iznimka su sustavi koji se temelje na kemoautotrofnoj produkciji u pridnenim staništima (npr. u hidrotermalnim izvorima). Najve i udio u krupnijem morskom fitoplanktonu (mikrofitoplanktonu, 20 – 200  $\mu\text{m}$ ) imaju jednostani ne mikroalge dijatomeje te bi aši dinoflagelati i kokolitoforidi. Sitniji fitoplankton (nanoplankton, 2 – 20  $\mu\text{m}$  te pikoplankton, 0.2 - 2 $\mu\text{m}$ ) ine cijanobakterije, pikoeukariotske alge, dinoflagelati, kokolitoforidi, jednostani ne zelene i crvene alge te kriptoficeje (Vili i 2003, Vili i i sur. 2009).

Fitoplankton nije jednoliko raspore en u moru. U nekim morima biomasa fitoplanktona a time i primarna produkcija su me u najve ima u biosferi, dok su neka mora vrlo siromašna biomasom. Godišnji ciklusi biomase fitoplanktona i horizontalna distribucija fitoplanktona ovise o nizu biotikih i abiotikih imbenika, od kojih su najzna ajniji svjetlost i hranjive tvari (nutrijenti), koje se dijele na anorganske soli i organske hranjive tvari. Epipelagijal, odnosno foti ka zona nije svugdje jednake dubine. Ona može varirati i s obzirom na trofi ke uvjete, jer koli ina estica u moru tako er odre uje prodor svjetlosti. Manja je za obla nog vremena a ve a za sun anog. Tako er, pri ve oj brojnosti stanica svjetlost se može apsorbirati na površini i time limitirati razvoj fitoplanktona u dubljem sloju foti ke zone.

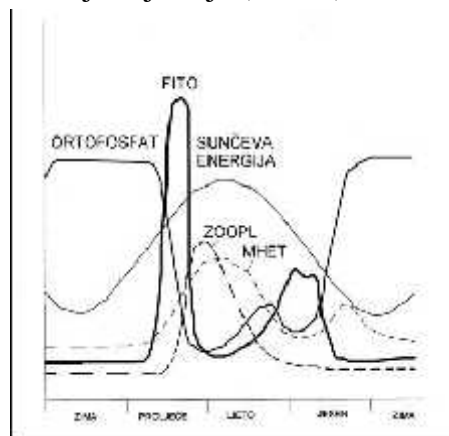
Hranjive tvari su važan limitiraju i faktor. ak i pri dovoljnoj koli ini svjetlosti, nedostatak hranjivih tvari limitira razvoj fitoplanktona. Najvažnija hranjiva tvar u svjetskim morima je dušik, a njegov najzastupljeniji oblik je nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Neke cijanobakterije imaju sposobnost vezivanja atmosferskog dušika u organski oblik. U podru ju Sredozemnom moru, pa tako i u Jadranskom moru ograni avaju i imbenik je fosfor (Vili i i sur. 2008). U vodama oko Antarktika te u dijelovima Tihog oceana razvoj fitoplanktona ograni ava nedostatak željeza. Važna hranjiva tvar je silicij, ija koncentracija odre uje razvoj dijatomeja u fitoplanktonu. Hranjive tvari u more naj eš e dopijevaju rijekama i ispiranjem

obala ali najveće zalihe trajno se nalaze u morskim ekosustavima i recikliraju se kroz hranidbene lance.

Hranjive tvari su neravnomjerno raspoređene u vodenom stupcu. Većina hranjivih tvari nalazi se u dubljim slojevima mora ali je primarna produkcija u dubokom moru limitirana svjetlošću. U tom slučaju vodeni stupac je stratificiran, što znači da toplija i rjeđa površinska voda, siromašnija hranjivim tvarima pluta na gušćoj i hladnijoj dubokoj vodi bogatoj hranjivim tvarima. Postoji nekoliko mehanizama kojima se vodeni stupac može izmiješati kako bi hranjive tvari došle na površinu. To se događa na višim geografskim širinama zimi, kada se površinski sloj ohladi i više ne može plutati na dubokoj vodi. Dolazi do miješanja i hranjive tvari se podižu u fotičku zonu. Slični se procesi događaju u područjima „upwellinga“, na zapadnim obalama kontinenta sa slabom razvijenom kontinentskom podinom te u ekvatorijalnom području. Uzrokuju ih vjetrovi koji pomiču površinski sloj mora pa dubinska voda dolazi na površinu. Unatoč različitostima između svjetskih mora, postoje određene pravilnosti u ciklusima fitoplanktona s obzirom na geografsku širinu.

U morima tropskog pojasa sezonske varijacije temperature su male pa vodeni stupac ostaje stabilan tijekom godine, što onemogućuje prijenos nutrijenata u fotičku zonu. Posljedica toga je stabilna ali mala primarna produkcija fitoplanktona.

Umjerena mora pokazuju najveće varijacije temperature mora kroz godinu. Miješanje vodenog stupca zimi donosi velike količine hranjivih tvari u fotički sloj, ali zbog nedostatka svjetlosti cvjetanje nastupa tek u proljetnim mjesecima. Biomasa fitoplanktona naglo se povećava, ali pritom se događaju promjene koje na nju štetno djeluju. Površinska voda se grije i sustav se stratificira pa prestaje dotok hranjivih tvari iz dubine i oni se naglo troše, a počinje i nagli rast biomase zooplanktona koji se hrani fitoplanktonom. Slijedeće miješanje stupca može se dogoditi u jesen ponovnim hlađenjem površine mora. Uz dovoljnu svjetlost, događa se još jedno manje cvjetanje (slika 1).

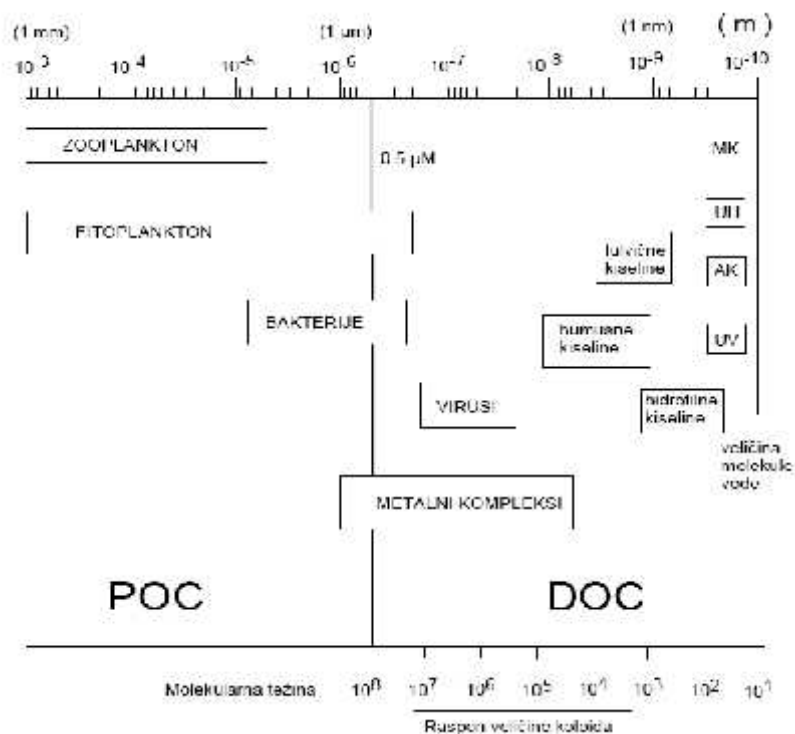


Slika 1. Sezonske promjene ekoloških imbenika i planktona u morima umjerenog pojasa. FITO – fitoplankton, ZOOPL – zooplankton, MHET – mikroheterotrofi (Vilić 2003).

Polarna mora bogata su hranjivim tvarima, ali limitirana svjetlošću. U hladnijoj polovici godine biomasa fitoplanktona je mala, a u ljetnim mjesecima dolazi do cvjetanja. Takva mora su obično izrazito produktivna, upravo zbog velike količine hranjivih tvari (Castro, Huber 2005).

## 2. ORGANSKA TVAR U MORU

Organska tvar u moru prema porijeklu može biti alohtona tj. ona koja u more ulazi ispiranjem kopna ili autohtona, koju proizvode primarni proizvođači. U moru dominira autohtona organska tvar. Elementi koji su asimilirani od strane fitoplanktona ulaze u biogeokemijske cikluse i izmjenjuju se između organizama i njihova okoliša. Najzastupljeniji element u organskoj tvari je ugljik, a upravo je fitoplankton ključan za njegovo kruženje u oceanima. Asimilirani iz  $\text{CO}_2$ , ugrađuje se prvo u šećere a zatim u složenije organske spojeve (polisaharide, organske kiseline itd.). Respiracijom se vraća u  $\text{CO}_2$ . Dušik je ključan element za sintezu aminokiselina, a njihovom razgradnjom nastaju amonijak, nitrat i nitrit. Sulfati i fosfati također nastaju razgradnjom organske tvari. Organska tvar pokazuje veliki veličinski raspon, od otopljenih molekula do velikih makroagregata organske tvari (slika 2.).



Slika 2. Spektar veličine estica: POC – suspendirani organski ugljik, DOC – otopljeni organski ugljik, MK – masne kiseline, UH – ugljikohidrati, AK – aminokiseline, UV – ugljikovodici. Modificirano prema Thurmanu (1984) te Stummu i Morganu (1996).

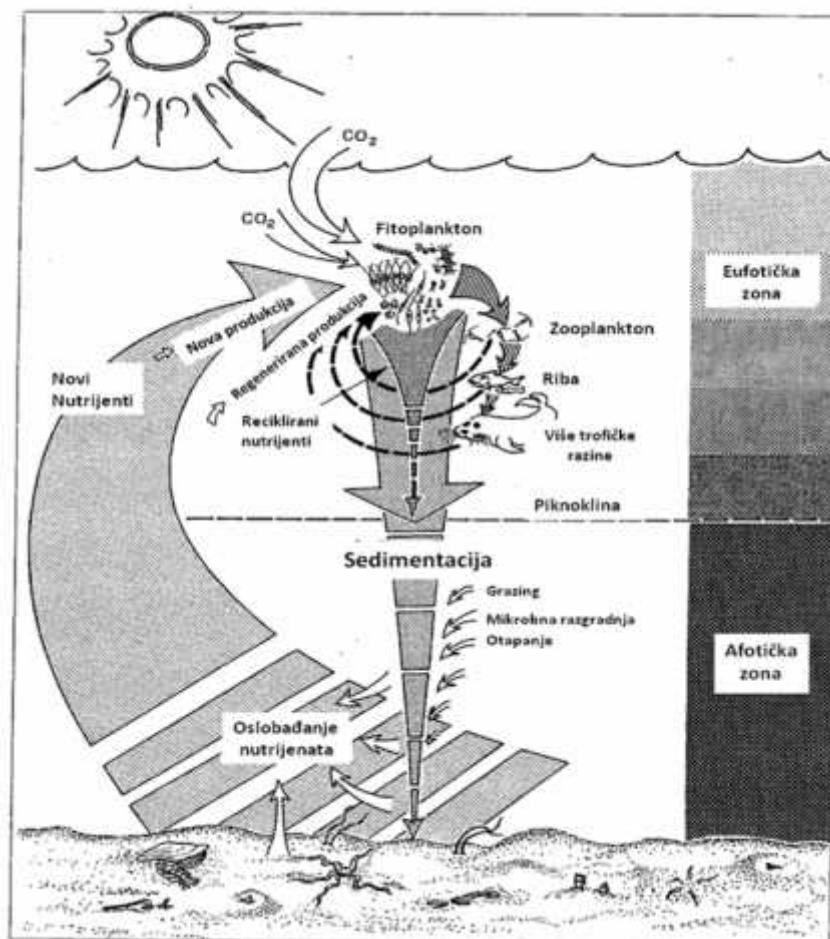
Najveći udio u organskoj tvari u moru ima otopljena organska tvar (eng. dissolved organic matter, DOM) kojoj pripadaju estice manje od  $0.5 \mu\text{m}$ . U moru je ima 10 puta više od suspendirane organske tvari. Ona se može podijeliti na veličinske frakcije. Razlikujemo koloidne estice (veličine  $1 \text{ nm} - 0.5 \mu\text{m}$ ) te stvarno otopljene estice, molekule i ione (do  $1 \text{ nm}$ ). Kemijska struktura otopljene organske tvari u moru vrlo je raznolika. Pripadaju joj brojni visokomolekularni i niskomolekularni organski spojevi: organske kiseline, ugljikohidrati, aminokiseline, proteini, lipidi, nukleinske kiseline te esteri fosforne kiseline i

derivati fenola (huminske tvari). Koloidne organske kiseline se brže talože ukoliko se agregiraju s drugim suspendiranim esticama.

estice veće od  $0.5\mu\text{m}$  pripadaju suspendiranoj organskoj tvari (eng. particulate organic matter, POM). I u ovoj frakciji nalazimo brojne koloidne estice različitog kemijskog sastava, od živih koloida - agregata bakterija do neživih - fekalnih grudica zooplanktona i „morskog snijega“. Značajnu ulogu u suspendiranoj organskoj tvari (oko 34%) ima fitoplankton. Stanice fitoplanktona pridonose i otopljenoj i suspendiranoj organskoj tvari. Naime, veliki inški pripadaju suspendiranoj organskoj tvari, sudjeluju u nastanku morskog snijega, a same izlučuju brojne produkte – otopljenu organsku tvar. Produkti stanica fitoplanktona su raznoliki. Od ugljikohidrata, peptida, aminokiselina i masnih kiselina do različitih metabolički aktivnih spojeva (hormona, toksina i antibiotika). Brojne vrste dijatomeja izlučuju polimere polisaharida koji služe pokretanju stanica (kod bentičkih vrsta) ili vezivanju stanica u kolonije kod kolonijalnih vrsta. Izlučivanje određenih kemijskih spojeva u pravilu je određeno uvjetima koji vladaju u okolišu.

### 3. KRUŽENJE ORGANSKE TVARI U MORU

Autohtona organska tvar nastala asimilacijom atmosferskog ugljika u foti kom sloju ima funkciju održavanja svih morskih ekosustava. Mehanizmi kojima se organska tvar prenosi u afoti ke slojeve mora i oceana ili se reciklira i ostaje u foti kom sloju složeni su i ovise o nizu bioloških procesa, kao i fizikalno-kemijskim procesima u moru (slika 3). Najvažniji procesi koji uklju uju prijenos ili recikliranje organske tvari su hranidbene mreže te agregiranje i sedimentacija organske tvari. Intenzitet svakog od navedenih procesa i njihovo me udjelovanje odre uju koliko e organske tvari biti dostupno ekosustavima u dubokom moru a koliko e ostati u foti kom sloju.



Slika 3. Primarna produkcija, vertikalni prijenos i regeneracija nutrijenata u morskom ekosustavu (Keck, Wassman 1998).

### 3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA

Aggregiranje organske tvari uzrokuje njeno ubrzano tonjenje i taloženje na morskom dnu. U moru se ono događa u obliku „morskog snijega“, kontinuiranog tonjenja organske tvari iz fotičke zone u dubinu. Agregiranje i „morski snijeg“ posebno dolaze do izražaja za vrijeme cvjetanja fitoplanktona. „Morski snijeg“ čine agregati veličine od 0.5  $\mu\text{m}$ , a nastaje kao posljedica cvjetanja pelagičkih ili bentoskih dijatomeja koje luče ekstracelularne polimere – ljepljive polisaharide. Ljepljivost polisaharida ovisi i o vrsti dijatomeje koja ih izlučuje (Wassman 1998). Polisaharidi imaju svojstvo nakupljanja u koloidne estice – polimere veličine do 0.7  $\mu\text{m}$ . Estice su u formi gela, a na njih agregiraju različite organske i anorganske tvari. Tonjenjem prema dnu estice postaju sve veće te se stvara mreža ljepljivih polimera. U slijedećoj fazi nastaju transparentni egzopolimeri (eng. transparent exopolymer particles, TEP) veličine do 100  $\mu\text{m}$ . Konačni produkt procesa agregiranja organske tvari su makroagregati veliki i do 1 m u koje su uklopljeni najrazličitiji oblici organske i anorganske tvari, od polisaharida i masnih kiselina do metala i stanica fitoplanktona i drugih organizama (Vilić 2003). Zooplankton je obično prisutan u manjoj abundanciji u početnim fazama cvjetanja fitoplanktona, pa ne može regulirati stvaranje velikih agregata. Formiranju agregata mogu doprinjeti bakterije nakupljanjem na estice organske tvari. One također luče ljepljive polisaharide kojima se pri vršućju na estice pa potiču stvaranje većih agregata. Bakterijska kolonizacija agregata može imati i suprotan učinak. Uslijed bakterijske razgradnje organske tvari agregati se mogu raspadati na manje estice, što smanjuje sedimentaciju (Vilić 2003).

### 3.2. HRANIDBENE MREŽE

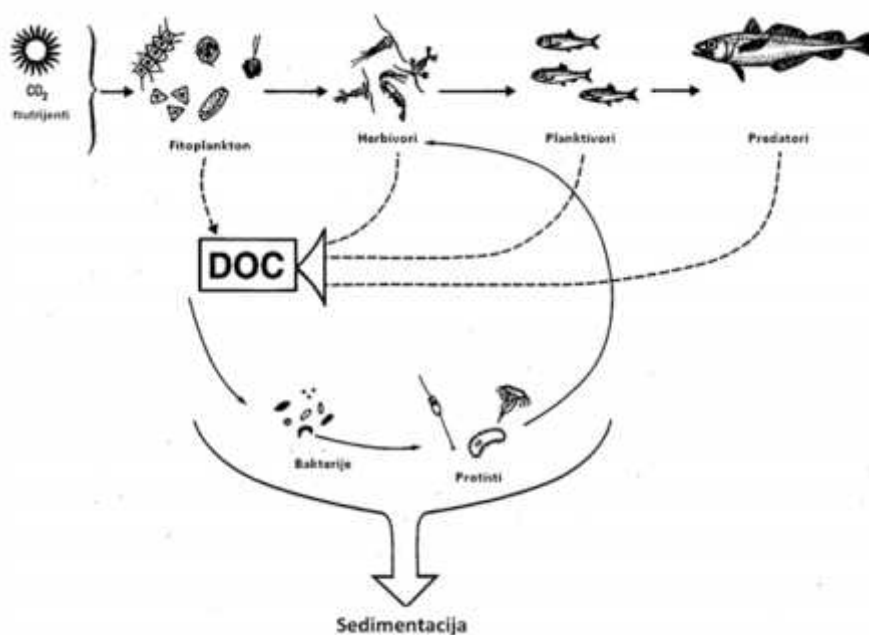
U osnovi klasične pelagičke hranidbene mreže nalazi se fitoplankton kao primarni proizvođač, a sekundarni je proizvođač herbivorni zooplankton koji organsku tvar prenosi na više trofičke razine (slika 4). Oblici prehrane u moru su složeni. Pored klasičnih oblika prehrane, autotrofije i heterotrofije, u moru nalazimo i organizme koji su miksotrofni, što znači da uz fotosintezu, dio potreba za hranom zadovoljavaju i heterotrofnom prehranom. Miksotrofi su najviše im dijelom zastupljeni u fitoplanktonu, pogotovo u bioplanktonu.

Kada su uvjeti za razvoj fitoplanktona optimalni, dolazi do naglog povećanja njegove biomase. Zooplankton prati promjene u biomasi fitoplanktona i povećanju hrane povećavanjem svoje biomase. Nakon toga pritisak herbivornog zooplanktona na fitoplankton uzrokuje postupno smanjivanje biomase fitoplanktona čime se ograničava i daljnji razvoj zooplanktona. Ciklusi fitoplanktona i zooplanktona diktiraju razvoj svih ostalih trofičkih razina u morskim ekosustavima. Najviše i dio regulacije vertikalnog prijenosa događa se u površinskom sloju, do 100 m dubine (Wassman 1998). U tom sloju niz organizama kroz različite hranidbene mreže regulira recikliranje i tonjenje organske tvari.



Posebno značajan na in prijenos organske tvari su fekalne grudice zooplanktona, koje sadrže neprobavljene stanice fitoplanktona (Vili i 1994). Brzina tonjenja fekalnih grudica razmjerno je velika, one tonu brzinom od desetak do tisu u metara dnevno. Njihov udio u vertikalnom prijenosu može se odrediti prema udjelu u sedimentu. On obično iznosi 5 - 10% ukupnog vertikalnog prijenosa, dok u slučajevima razvoja velike biomase fitoplanktona i zooplanktona fekalne grudice mogu imati najveći udio u vertikalnom prijenosu organske tvari.

Udio fekalnih grudica u sedimentu ovisi i o dominantnoj skupini u zooplanktonu. Fekalne grudice planktonskih rakova i riba krhke su i lako se raspadaju na putu do dna. S druge strane, fekalne grudice plaštenjaka obavijene su mrežicom za hranjenje, koja im daje vrstu u kojoj lako dolaze do dna mora budući da tonu brzinom i do tisu u metara dnevno. Zooplankton može utjecati na sedimentaciju peleta i hranjenjem peletima. Neke vrste zooplanktona hrane se sitavim fekalnim peletima (*koprofagija*), time ih izravno uklanjaju iz suspendirane organske tvari. Postoje vrste koje jedu samo neke dijelove grudica, time uzrokuju njihovo raspadanje. Kolonizacija fekalnih grudica bakterijama i heterotrofnim protistima također uzrokuje njihovo raspadanje. Isto mogu uzrokovati i bakterije i protisti koji se nalaze u grudicama a potječu iz probavnog sustava zooplanktonskih životinja.



Slika 4. Pelagička hranidbena mreža: hranidbeni lanac: fitoplankton – zooplankton – riba i mikrobni krug: DOC – bakterije – cilijati – zooplankton. Oba procesa doprinose kruženju organske tvari u moru (Lalli, Passon 1993).

Ravnoteža izme u biomasa fitoplanktona i zooplanktona određuje da li će prevladati recikliranje ili tonjenje organske tvari. Cvjetanje mora, kao porast biomase fitoplanktona, predstavlja neravnotežu u biomasi fitoplanktona i zooplanktona. U plitkim morima iznad kontinentske podine takvi se procesi događaju u proljeće porastom temperature i količine svjetlosti u sustavima bogatim hranjivim tvarima. Uzrok neravnoteži je kraće generacijsko vrijeme zooplanktona i predacija mezozooplanktona nad mikrozooplanktonom, čime se smanjuje pritisak na fitoplankton. Takva neravnoteža dovodi do gomilanja biomase fitoplanktona i povećanog agregiranja te gubitka organske tvari iz fotičkog sloja.

S druge strane, ravnoteža izme u biomasa fitoplanktona i zooplanktona potiče recikliranje organske tvari tj. njeno zadržavanje u fotičkom sloju. Jedini mehanizam prijenosa organske tvari u dubinu u tom slučaju su fekalni peleti i detritus, a intenzitet prijenosa ovisi prije svega o strukturi zooplanktonske zajednice. Primjer ravnoteže fitoplanktona i zooplanktona su tropska mora, u kojima su biomase fitoplanktona i zooplanktona ujednačene tijekom godine i nema veće cvjetanja mora. U takvim sustavima organska tvar se zadržava u fotičkom sloju. Ravnoteža se može uspostaviti i zbog niskih temperatura. Tako u hladnijim morima fitoplankton cvjeta sporije što omogućuje zooplanktonu da regulira njegov razvoj.

U hladnijim morima samo veće vrste zooplanktona mogu prezimljavati bez hibernacije i vršiti pritisak na fitoplankton u ranim fazama cvjetanja. U nekim slučajevima je aktivnost zooplanktona u rano proljeće toliko jaka da izostane uobičajeno proljetno povećanje biomase fitoplanktona. Time je smanjena mogućnost nastanka većih agregata organske tvari koji bi hranu mogli prenijeti u dubinu.

### **3.3 MIKROBNI KRUG**

Mikrobni krug je pelagična mikrobna hranidbena mreža kojom se otopljena organska tvar (DOM) vraća u suspendiranu organsku tvar (POM) ugrađujući i se u stanice mikroorganizama te se metabolički razgrađuje do hranjivih tvari, CO<sub>2</sub> i vode (Sherr, Sherr 1988). Ti produkti metabolizma omogućuju novu fotosintezu. Najvažniji organizmi u mikrobnom krugu su bakterije, flageliti i cilijski. Bakterije kao izvor hrane najčešće koriste otopljenu organsku tvar koju luče stanice fitoplanktona ili suspendiranu organsku tvar u obliku morskog snijega. Stvaranju DOM-a pridonose i virusne infekcije budući da stanice mikroorganizama, kako planktonskih organizama tako i bakterija, pucaju uslijed virusnih infekcija i oslobađaju otopljenu organsku tvar. Kada koloniziraju već postojeće organske tvari, bakterije prolaze kroz fazu intenzivnog rasta koja traje do pojave većih biomase flagelata koji se hrane bakterijama. Cilijski se hrane flagelatima te tako organsku tvar ponovno vraćaju na više trofičke razine budući da se njima hrani zooplankton. Mikrobni krug potiče recikliranje organske tvari. Regeneriraju se hranjive tvari i pomaže se razvoj fitoplanktona i zooplanktona. Također, bakterijskom razgradnjom raspadaju se čestice „morskog snijega“ i nastaju mikropeliti koji slabije doprinose vertikalnom transportu organske tvari.

## 4. SAŽETAK

Važan dio pelagi kog ekosustava je epipelagijal, područje slobodne vode do oko 150 m dubine u kojem se razvija primarni proizvođač – fitoplankton. Fitoplankton se razvija unutar godišnjih ciklusa, a u ovisnosti o fizikalno-kemijskim i biotičkim imbenicima. Organsku tvar u moru predstavlja itav niz ugljikovih. Prema porijeklu može biti alohtona, donesena iz drugih sustava i autohtona, porijeklom od primarne produkcije. Autohtona organska tvar proizvedena u epipelagijalu potrebna je svim životnim zajednicama u moru a posebno onima na dnu. Pelagički sustavi imaju mehanizme recikliranja i vertikalnog prijenosa organske tvari. Taj se prijenos najčešće odvija putem agregiranja i sedimentacije organske tvari te putem hranidbenih mreža. Agregiranje organske tvari u obliku „morskog snijega“ i njeno tonjenje posljedica je cvjetanja dijatomeja. Stanice dijatomeja luče ljepljive polisaharide koji djeluju kao središta agregiranja i dok tonu na sebe vežu organsku tvar. Na in prijenosa organske tvari u dubinu su i fekalne grudice zooplanktona koje sadrže neprobavljenu organsku tvar. Bakterijska razgradnja te mikrobni krug važni su za recikliranje otopljene organske tvari i njeno vraćanje u hranidbenu mrežu.

## 5. SUMMARY

Important part of pelagic environment is its upper layer, shallower than 150 m which contains the biggest biomass of primary producers – phytoplankton (photic zone). Phytoplankton develops in regular annual cycles which depend on certain physical, chemical and biological parameters. The organic matter in the sea is represented by carbon compounds. Organic matter in the sea can originate from other ecosystems (allochthonous) or it can be produced by primary producers (autochthonous). The one that is assimilated in epipelagic zone is vital for all marine ecosystems, especially for those on the bottom of the ocean. Pelagic system has mechanisms for recycling and vertical export of organic matter. It is conducted by aggregation and sedimentation of organic matter or through different food webs. Aggregation of organic matter and its sinking is taking place after large diatom blooms, and it's also called „marine snow“. „Marine snow“ is created by sticky diatom exopolymers which act as centers of aggregation. Faecal pellets of zooplankton are also very important way of vertical transport. They contain non-digested organic matter. Microbial decomposers recycle dissolved organic matter and return it into food web.

## 6. LITERATURA

- Castro, P., Huber, M. E., 2005: Marine biology. McGraw-Hill, New York.
- Field, C. B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J. T., Falkowski, P., 1998: Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components, *Science* 281: 237 – 240.
- Keck, A., Wassmann, P., 1993: Den sibirske kontinentalsokkel og Polhave. II. Betydning for den globale karbonkretslop? *Naturen* 6: 264 – 272.
- Lalli, C. M., Passon, T. R., 1993: Biological oceanography: An introduction. Pergamon Press, Oxford.
- Sherr, E., Sherr, B., 1988: Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. *Limnol. Oceanogr.* 33: 1225 – 1227.
- Stumm, W., Morgan, J. J., 1996: Aquatic chemistry. Wiley interscience, New York.
- Thurman, R. C., 1984: Organic geochemistry of natural waters. Nijhoff/Junk, Dordrecht.
- Vilić, D., Kršinić, F., Bičanić, Z., 1994: The diatom *Nitzschia sicula* (CASTR) and naupliar faecal minipellets in the adriatic sea. *P.S.Z.N.I.: Marine ecology*, 15: 27 – 39.
- Vilić, D., 2003: Fitoplankton u ekološkom sustavu mora, Školska knjiga, Zagreb.
- Vilić, D., Terzić, S., Ahel, M., Burić, Z., Jasprica, N., Carić, M., Caput Mihalić, K., Olujić, G., 2008: Phytoplankton abundance and pigment biomarkers in the oligotrophic, eastern Adriatic estuary, *Environ Monit Assess* 142: 199–218.
- Vilić, D., Djakovac, T., Burić, Z., Bosak, S., 2009: Composition and annual cycle of phytoplankton assemblages in the northeastern Adriatic sea, *Botanica Marina* 52: 291 – 305.
- Wassmann, P., 1998: Retention versus export food chains: Processes controlling sinking loss from marine pelagic systems, *Hydrobiologia* 363: 29 – 57.